

ВПЛИВ КАТАЛІТИЧНОГО НЕЙТРАЛІЗАТОРА НА ТОКСИЧНІСТЬ ДВИГУНА З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ

Екологічні показники бензинового двигуна залежать від складу паливоповітряної суміші. Визначено вплив трикомпонентного каталітичного нейтралізатора на токсичність двигуна з іскровим запалюванням при роботі з карбюраторною і електронною системою впорскування бензину. У роботі визначено вплив каталітичного нейтралізатора на екологічні показники двигуна з різними системами живлення в режимах навантаження, активного і примусового холостого ходу.

Ключові слова: відпрацьовані гази, бензиновий двигун, автомобіль, система впорскування, карбюратор, екологічні показники.

VIKTOR V. SLAVIN

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University

THE INFLUENCE OF A CATALYTIC CONVERTER ON THE TOXICITY OF AN ENGINE WITH SPARK IGNITION

In the conditions of operation automobile continue to operate with spark motors, which are equipped with outdated petrol systems with an ecological level of Euro-0. Automobile of low ecological level with spark motors make up a considerable part in their class. Therefore, they are the main mobile sources of atmospheric air pollution in cities. An effective measure to improve the environmental performance of automobile is the use of exhaust gas emission reduction systems in the engine exhaust system. As such devices today are three-component catalytic exhaust gas neutralizers, which effectively neutralize pollutants with the injection system and feedback. The injection system with feedback allows us to improve the environmental performance of new automobile to the modern ecological level. Efficiency of use of catalytic converters on automobile in operation with obsolete mechanical systems of nutrition is investigated by experimental methods. In order to improve the environmental performance of automobile with run, it is proposed to install modern injection systems under operating conditions. By these substitutes and the use of catalytic converters, cars with mileage maintain a high ecological level. To study the effect of these changes, a series of load characteristics, high speed active and forced idling of the engine with different power systems were obtained. The peculiarity of using injection systems is the constant stoichiometric composition of the mixture during engine operation, increasing the efficiency of the exhaust gas neutralization system within 90%. The estimation of the efficiency of the catalytic converter with different power systems is determined by comparing the measured values of the pollutant before and after the neutralizer. Experiments have shown that small emissions of CO, CmHn, NOx are generated when the engine is running with a petrol injection system.

Keywords: petrol engine, the system of petrol injection, waste gases neutralization system, feedback coupling.

Постановка проблеми. Автомобільними шляхами України продовжують експлуатацію автомобілів із іскровими двигунами, які обладнані застарілими системами живлення (СЖ) бензином із низьким екологічним рівнем. Не дивлячись на те, що в Україні вже діють норми рівня Євро-5 автомобілі з екологічним рівнем Євро-0-1 складають більшість легкових автомобілів. Про це свідчать дані роботи [1], відповідно до яких:

- легкових автомобілів Євро-0 – 4470-4870 тис. од. (66-72 %);
- легкових автомобілів Євро-1 – 60-130 тис. од. (1-2 %).

Автомобілі рівня Євро-0 використовують застарілу механічну карбюраторну систему живлення бензином без використання засобів зниження токсичності відпрацьованих газів, тоді як інші представники, класу Євро-1, можуть бути, обладнані окислювальними нейтралізаторами відпрацьованих газів (ВГ) або «моно-інжекторами» (електронні системи центрального впорскування палива (ТВІ – Throttle Body Injection). Через низку факторів експлуатація автомобілів із ранніми системами живлення бензином буде продовжуватися, про що свідчить ріст внутрішніх продажів автомобілів з пробігом.

Підтримання Україною екологічним норм є результатом приєднання до «Угоди про прийняття єдиних технічних приписів для колісних транспортних засобів, предметів обладнання та частин, які можуть бути встановлені та/або використані на колісних транспортних засобах, і про умови взаємного визнання офіційних затверджень, виданих на основі цих приписів, укладеної у 1958 році, з поправками 1995 року та доданих до неї Правил Європейської економічної комісії ООН у порядку, визначеному центральним органом виконавчої влади у сфері транспорту, дорожнього господарства, туризму та інфраструктури» [2].

Визнання технічних приписів угоди як обов'язкових на території України запровадило крокове введення екологічних норм вищого рівня, що посприяло пошуку шляхів поліпшення показників роботи автомобілів в умовах експлуатації.

Аналіз останніх джерел. Поліпшення паливо-економічних та екологічних показників роботи автомобілів із ранніми системами живлення в умовах експлуатації виконані у роботі [3]. Використання системи впорскування в навантажувальних режимах посприяли зниженню концентрацій C_mH_n у відпрацьованих газах, а також значно збіднити паливоповітряну суміш (α зросло від 1,0 до 1,2). Таке

збіднення суміші призвело до зниження питомої витрати палива g_e при використанні системи впорскування в середньому по навантажувальній характеристиці на 8,7 %.

У роботі [3] визначено, що заміна системи живлення двигуна екологічного рівня Євро-0 на електронну систему впорскування, посприяло покращенню паливної економічності, екологічних та енергетичних показників легкових автомобілів в умовах експлуатації. Проте така система не забезпечує зворотного зв'язку по складу відпрацьованих газів так як це є основною вимогою для забезпечення екологічних норм не нижче рівня Євро-2. Тому для підтримки сучасних екологічних норм необхідно використовувати системи впорскування із зворотнім зв'язком по λ -датчику, що забезпечує ефективну роботу пристроїв зниження токсичності відпрацьованих газів.

Виділення невирішених частин. Ефективним напрямком поліпшення екологічних показників автомобілів із двигунами низького екологічного рівня в умовах експлуатації є установка в системі випуску двигуна каталітичних нейтралізаторів відпрацьованих газів. Досвід з встановлення таких каталітичних нейтралізаторів відпрацьованих газів на автомобілі розпочатий в США з 1975 р., де був виданий нормативний акт, який забороняє експлуатацію автомобілів без каталітичних цих пристроїв [4]. Вони нейтралізують у відпрацьованих газах шкідливі речовини більш ніж на 90 %, що посприяло значному скороченню викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище. Наприклад, за період 1970-2004 рр. токсичність відпрацьованих газів американських автомобілів з бензиновими двигунами по монооксиду вуглецю CO зменшилася практично в 20 разів, по не згорівших вуглеводнях C_mH_n і оксидах азоту NO_x – більш ніж в 30 і 15 разів відповідно [4].

У Західній Європі до введення Євро-1 середній європейський автомобіль з чотирициліндровим двигуном потужністю 75 кВт (100 к.с.) при щоденному пробігу 100 км викидав в атмосферу за рік 300 кг (8,2 г/км) CO, 20 кг (0,548 г/км) C_mH_n і 40 кг (1,09 г/км) NO_x , тобто 360 кг шкідливих для людини і навколишнього середовища речовин. Норми Євро-1, які передбачають встановлення окислювальних нейтралізаторів, забезпечили зниження викидів по CO до 2,75 г/км, C_mH_n – до 0,3 г/км, NO_x – 0,62 г/км, що для середнього міського автомобіля з бензиновим двигуном складає відповідно – 0,996, 0,105 і 0,226 т в рік.

Посилення екологічних норм до автотранспорту, коли особливої уваги привернула проблема знешкодження більш токсичних оксидів азоту посприяли появі трикомпонентних каталітичних нейтралізаторів (ТКН). З 1993 р. їх масово розпочали встановлювати на всі європейські автомобілі з системою впорскування бензину, що забезпечило виконання норм рівня «Євро-2».

Якщо раніше у двокомпонентних (окислювальних) нейтралізаторах в якості каталізаторів використовували платину та паладій, які забезпечують окислення CO в CO_2 , а C_mH_n у CO_2 і H_2O , то трикомпонентний каталітичний нейтралізатор містить родій, що забезпечує відновлення NO_x в молекулярний азот N_2 . Ефективність роботи ТКН в межах 90-95 % досягається за умови підтримання стехіометричного складу суміші ($\alpha=1$), що забезпечується системою впорскування бензину зі зворотнім зв'язком.

Мета і постановка задачі. Визначення впливу засобів зниження токсичності відпрацьованих газів на екологічні показники легкових автомобілів в умовах експлуатації.

Виклад основного матеріалу. У лабораторії «Випробування двигунів» Національного транспортного університету проводяться дослідження використання ТКН в автомобільних двигунах з іскровим запалюванням з різними системами живлення і визначення їх екологічних показників (рис. 1).

Згідно програми експериментальних досліджень отримано серію навантажувальних характеристик, швидкісних активного і примусового холостого ходу (ПХХ) двигуна з різними СЖ.



Рис. 1. Стендові випробування двигуна з іскровим запалюванням

Один з найбільш поширених режимів роботи автомобільних двигунів в умовах експлуатації, зокрема, в місті є режим активний холостий хід (ХХ). Згідно з цим визначалися порівняльні характеристики двигуна з карбюраторною системою і системою впорскування в швидкісних режимах

активного ХХ (рис. 2 а).

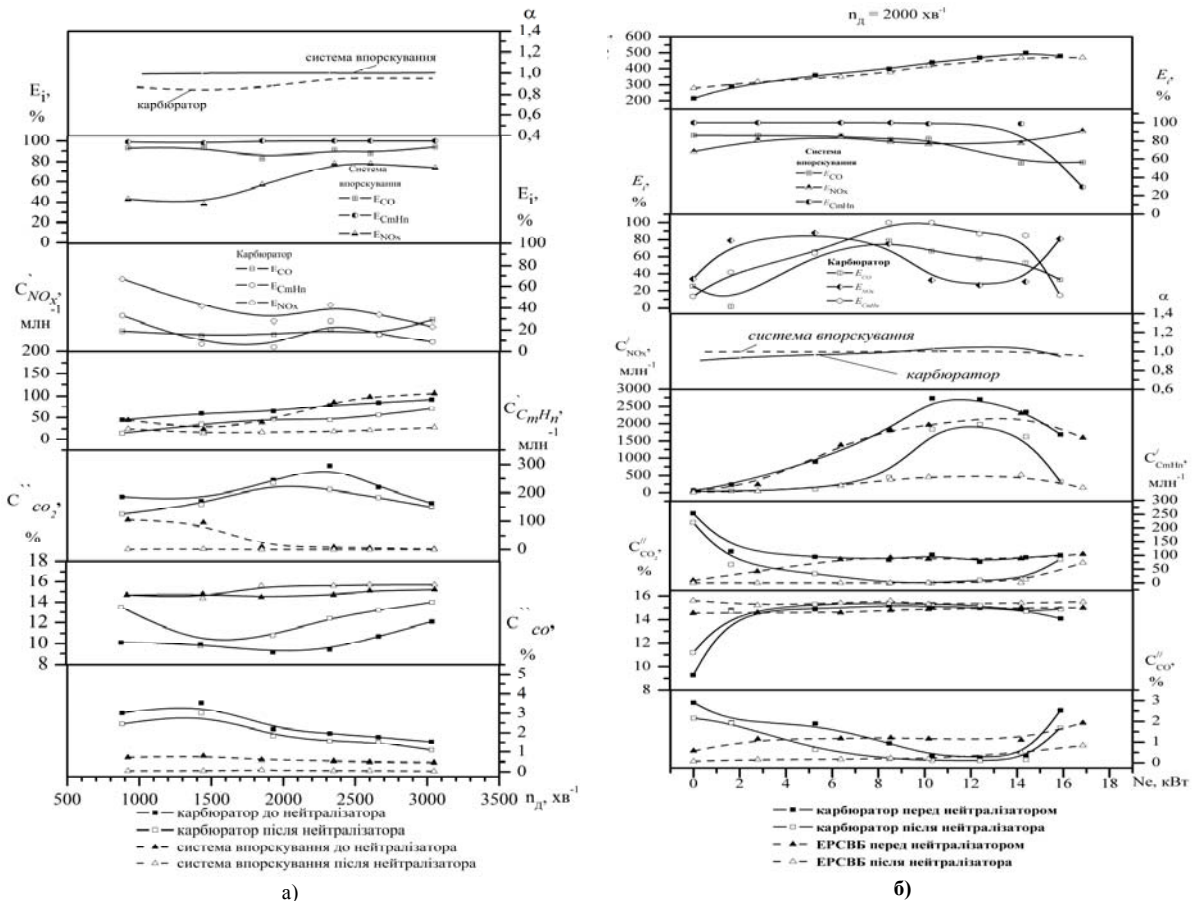


Рис. 2. Залежність екологічних показників двигуна 4Ч7,6/6,6 в режимах активного ХХ (а) та від навантаження (б) з різним типом СЖ

У режимі мінімальної частоти обертання двигуна паливовоздушна суміш (ППС) має збагачений склад ($\alpha=0,91$). При збільшенні частоти обертання, коли спрацьовує перехідна та головна дозувальна системи, коефіцієнт надлишку повітря змінюється в межах $\alpha=0,83...0,95$.

Робота двигуна з карбюраторною СЖ на збагаченій ППС характеризується підвищеними концентраціями CO , C_{mH_n} у ВГ при відборі проб до ТКН в порівнянні з цими показниками при застосуванні системи впорскування. Концентрації NO_x в режимах ХХ незначні і різниця для різних СЖ близька до точності заміру цієї речовини. У режимах ХХ визначено ефективність нейтралізації забруднюючих речовин (ЗР) ТКН за роботи двигуна з карбюраторною СЖ, і після заміни її системою впорскування бензину (рис. 2 а).

Як видно з рис. 2 а, система впорскування забезпечує ефективну нейтралізацію CO , C_{mH_n} у межах 88...100% в усьому швидкісному режимі. Ефективність нейтралізації NO_x при частотах обертання 2350...3050 xv^{-1} знаходиться в межах 73...78%, і лише при низьких частотах ефективність нейтралізації NO_x знижується до 43,2 %, що пояснюється зниженням температури ВГ ($t_{вг}$), які надходять в ТКН. Для прикладу на рис. 2 б показана навантажувальна характеристика ($n_d = 2000 xv^{-1}$) двигуна 4Ч7,6/6,6 з різними СЖ. Як видно з рис. 2 б, в режимах малих навантажень і ХХ мають місце підвищені концентрації продуктів неповного згоряння (CO , C_{mH_n}) в порівнянні з системою впорскування. В діапазоні середніх навантажень і близьких до повного при карбюраторній СЖ концентрації NO_x також вищі, що пояснюється збідненням ППС. Температура ВГ ($t_{вг}$) вища в тих навантаженнях, де ППС більш бідна з тією чи іншою системою. В області найбільш ефективного згоряння ($\alpha = 1,03...1,05$), де концентрації CO і C_{mH_n} мінімальні, концентрація NO_x найбільша, що пояснюється високими температурами процесу згоряння і достатньою кількістю кисню для протікання термічних реакцій утворення NO_x . У зоні збагачення суміші ($\alpha=0,95-0,94$) концентрації NO_x трохи нижчі, хоча температура згоряння максимальна. Це є наслідком недостатньої кількості кисню. В режимах ХХ NO_x практично відсутні. Отже, різна зміна складу суміші з тією чи іншою системою відобразиться на концентраціях і-ої ЗР на виході з ТКН. Як видно з рис. 2 б, в режимах ХХ ефективність нейтралізації CO і C_{mH_n} знаходиться в межах 86...100 % для системи впорскування, а з карбюраторною СЖ 13...25% відповідно. В навантажувальних режимах до збагачення ППС, нейтралізація CO і C_{mH_n} при використанні системи впорскування становить 79...100%, з карбюраторною СЖ відповідно

45...78%.

При повному навантаженні відбувається збагачення ППС ($\alpha=0,95-0,94$), нейтралізація ЗР для обох систем знижується. Ефективність нейтралізації NO_x в усьому діапазоні навантажувальної характеристики підвищується від 69% до 91% з системою впорскування, що пояснюється зростанням температури ВГ ($t_{\text{ВГ}}$). До того ж робота двигуна з карбюраторною СЖ забезпечує меншу ефективність нейтралізації NO_x (34...81%), що пояснюється відхиленням складу суміші від стехіометричного [5].

В режимі ПХХ тривалість експлуатації автомобілів складає 35%, крім того, двигун в режимі ПХХ не виконує транспортної роботи, споживаючи в середньому 9...12% палива. Вплив типу СЖ на екологічні показники двигуна в режимі ПХХ показано на рис. 3 [6].

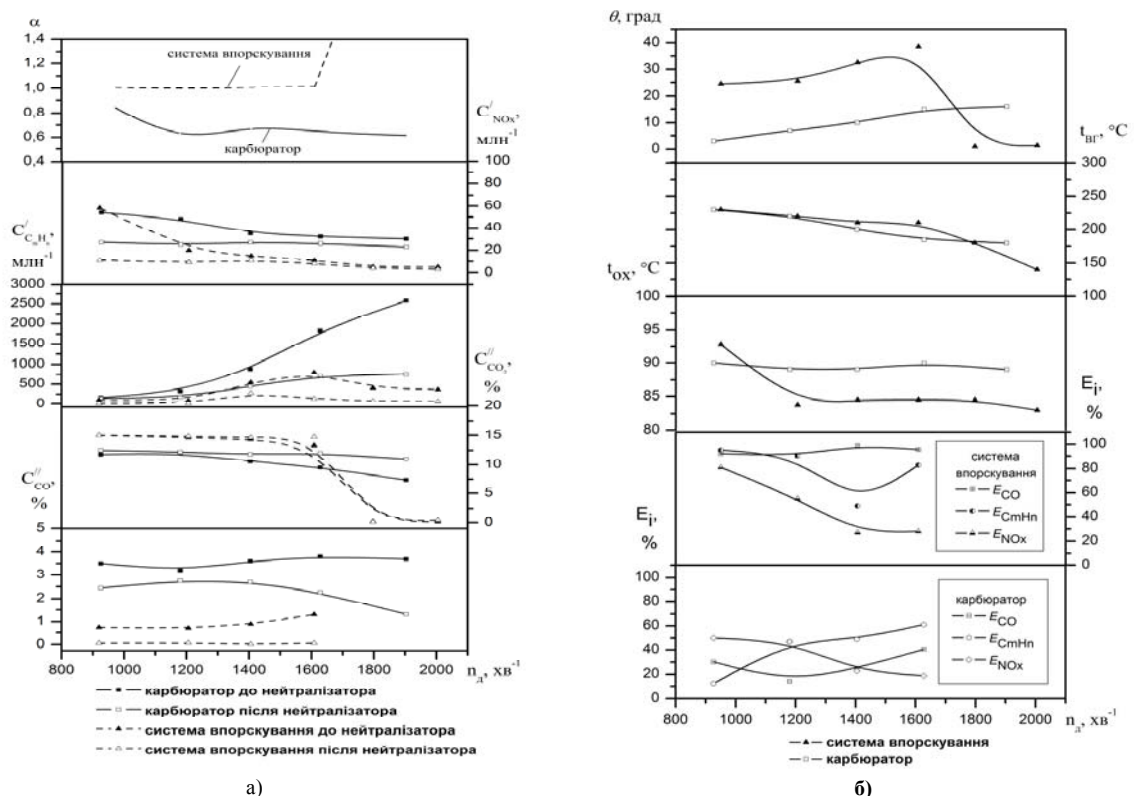


Рис. 3. Характеристики ПХХ двигуна 4C47,6/6,6 з різним типом СЖ: екологічні показники

В режимі ПХХ, а саме в діапазоні частот обертання двигуна $n_d = 926...1600 \text{ хв}^{-1}$ з карбюратором із збагаченим складом суміші $\alpha=0,91...0,61$, підвищуються концентрації продуктів неповного згоряння палива CO (в 3,8 рази) і C_mH_n (в 2,2 рази) перед ТКН в порівнянні з показниками системи впорскування. Концентрації NO_x в режимі ПХХ незначні і різниця для досліджуваних СЖ близька до точності заміру цієї речовини.

З характеристики ПХХ (рис. 3) видно, що використання системи впорскування підвищує ефективність роботи ТКН в цих режимах. В діапазоні навантажень $n_d = 926...1600 \text{ хв}^{-1}$ ефективність нейтралізації CO і C_mH_n з системою впорскування в середньому складає 94,2...80%, а з карбюраторною СЖ відповідно 28...42,3%.

Нейтралізація NO_x при уповільненні двигуна з системою впорскування підвищується в межах 27...81%, через зростання температури ВГ. При тих же умовах нейтралізація NO_x менша (19...50 %) за роботи двигуна з карбюраторною СЖ, що пояснюється значним збагаченням складу суміші.

Висновки. У результаті проведених досліджень визначено, що максимальна ефективність нейтралізатора, що визначається складом суміші, забезпечується системою впорскування бензину із зворотнім зв'язком. При цьому на карбюраторних двигунах трикомпонентний каталітичний нейтралізатор на відміну від окислювальних, забезпечує деяке зниження масових викидів NO_x . З навантажувальних характеристик ($n_d=2000 \text{ хв}^{-1}$), швидкісних характеристик активного і ПХХ бензинового двигуна 4C47,6/6,6 з різними СЖ видно, що найменші викиди CO , C_mH_n , NO_x утворюються при роботі двигуна з системою впорскування бензину.

Література

1. Редзюк А.М. Уведення екологічних норм Євро3-Євро6 в Україні, аналіз структури парку автомобілів за екологічними ознаками / А.М. Редзюк, В.С. Устименко, О.А. Клименко // Автошляховик

України. – 2011. – № 4. – С. 2–7.

2. Про внесення змін до Закону України «Про деякі питання ввезення на митну територію України та реєстрації транспортних засобів» щодо колісних транспортних засобів [Електронний ресурс] : закон України // Відомості Верховної Ради (ВВР). – 2013. – № 31. – ст. 360.

3. Гулько А. В. Поліпшення паливної економічності та екологічних показників в умовах експлуатації : дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.20 „Експлуатація та ремонт засобів транспорту” / А. В. Гулько. – К., 2006. – 185 с.

4. Адамович Б. А. Каталитические нейтрализаторы отработавших газов и экологическая безопасность АТС / Б. А. Адамович // Автомобильная промышленность. – 2005. – № 1. – С. 9–12.

5. Славін В. В. Дослідження показників бензинового двигуна з різними системами живлення в режимі примусового холостого ходу / В.В. Славін // Автошляховик України. – 2013. – № 2 (232). – С. 6–10.

6. Славін В. В. Вплив типу системи живлення на екологічні показники автомобіля в умовах експлуатації / В. В. Славін, І. В. Манько, А. В. Гулько // Вісник технічного університету «ХПІ» : збірник наукових праць. Серія: Автомобіле-та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2015. – № 9 (1118). – С. 69–76.

References

1. A.M. Redziuk, V.S. Ustylenko, O.A. Klymenko [ta in.]. Uvedennia ekolohichnykh norm Yevro-3–Yevro-6 v Ukraini, analiz struktury parku avtomobiliv za ekolohichnymy oznakamy, *Avtoshliakhovyk Ukrainy*, 2011, No. 4, pp. 2–7.

2. Zakon Ukrainy «Pro vnesennia zmin do Zakonu Ukrainy «Pro deiaiki pytannia vvezennia na mytnu terytoriiu Ukrainy ta reiestratsii transportnykh zasobiv» shchodo kolisnykh transportnykh zasobiv» [Elektronnyi resurs] / Vidomosti Verkhovnoi Rady (VVR). – 2013. – No 31. – st. 360. (Zakon vid 06.07.2012 № 5177-VI) – Rezhym dostupu do st.: <http://www.zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5177-17>

3. Hunko A. V. Polipshennia palyvnoi ekonomichnosti ta ekolohichnykh pokaznykiv v umovakh ekspluatatsii: dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : spets. 05.22.20 „Ekspluatatsiia ta remont zasobiv transportu” / A. V. Hunko. – K., 2006. – 185 p.

4. Adamovych B. A. Katalytycheskye neitralyzatory otrabotavshykh hazov y ekolohycheskaia bezopasnost ATS / B. A. Adamovych / *Avtomobylnaia promyshlennost*. – 2005. – No 1. – pp. 9–12.

5. Slavin V. V. Doslidzhennia pokaznykiv benzynovoho dvyhuna z riznymy systemamy zhyvlennia v rezhymy prymusovoho kholostoho khodu / V.V. Slavin // *Avtoshliakhovyk Ukrainy*. – 2013. – No 2 (232), pp. 6 – 10.

6. Slavin V. V. Vplyv typu systemy zhyvlennia na ekolohichni pokaznyky avtomobilia v umovakh ekspluatatsii / V. V. Slavin, I. V. Manko, A. V. Hunko // *Visnyk tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. Zbirnyk naukovykh prats. Seria: Avtomobile-ta traktorobuduvannia. –Kh.: NTU «KhPI». – 2015. – No 9 (1118). – pp. 69 – 76.

Рецензія/Peer review : 28.12.2017 р.

Надрукована/Printed :03.02.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Шайко-Шайковський О.Г.